

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Tabellen	XIV
Bezeichnungen, Dimensionen, Einheiten	XV
1 Einführung in die Fluidmechanik	1
1.1 Überblick	1
1.2 Physikalische Eigenschaften und Stoffgrößen der Fluide	2
1.2.1 Einführung	2
1.2.2 Dichteänderung	2
1.2.2.1 Grundsätzliches	2
1.2.2.2 Dichte von Fluiden	3
1.2.2.3. Schallgeschwindigkeit von Fluiden	5
1.2.3 Reibungseinfluß	6
1.2.3.1 Grundsätzliches	6
1.2.3.2 Normalviskose Fluide (newtonsche Fluide)	7
1.2.3.3 Anomalviskose Fluide (nicht-newtonsche Fluide)	8
1.2.3.4 Wirbelviskosität (Turbulenz)	9
1.2.4 Schwereinfluß	10
1.2.4.1 Grundsätzliches	10
1.2.4.2 Fallbeschleunigung	10
1.2.4.3 Wichte von Fluiden	10
1.3 Physikalisches Verhalten von Strömungsvorgängen	11
1.3.1 Einführung	11
1.3.2 Darstellungsmethoden von Strömungsvorgängen	11
1.3.2.1 Beschreibung von Strömungsvorgängen	11
1.3.2.2 Kennzahlen der Fluidmechanik	13
1.3.2.3 Ähnlichkeitsgesetze der Fluidmechanik	16
1.3.3 Erscheinungsformen strömender Fluide	18
1.3.3.1 Allgemeines	18
1.3.3.2 Laminare und turbulente Strömung (Reibungseinfluß)	18
1.3.3.3 Strömende und schießende Flüssigkeitsbewegung (Schwereinfluß)	20
1.3.3.4 Gasströmung mit Unter- und Überschallgeschwindigkeit (Dichteinfluß)	21
2 Grundgesetze der Fluidmechanik	25
2.1 Überblick	25
2.2 Ruhende und gleichförmig bewegte Fluide (Statik)	25

2.2.1	Einführung	25
2.2.2	Kräfte im Ruhezustand	25
2.2.2.1	Druckkraft (Oberflächenkraft)	25
2.2.2.2	Massenkraft (Volumenkraft)	27
2.2.2.3	Mechanik ruhender und gleichförmig bewegter Fluide	28
2.3	Bewegungszustand (Kinematik)	29
2.3.1	Einführung	29
2.3.2	Größen der Bewegung	30
2.3.2.1	Geschwindigkeitsfeld	30
2.3.2.2	Kinematische Begriffe zur Beschreibung des Strömungsverlaufs	31
2.3.2.3	Beschleunigungsfeld	34
2.4	Massenerhaltungssatz (Kontinuität)	36
2.4.1	Einführung	36
2.4.2	Kontinuitätsgleichungen	36
2.4.2.1	Kontinuitätsgleichung für den Kontrollraum	36
2.4.2.2	Kontinuitätsgleichung für den Kontrollfaden	37
2.4.2.3	Kontinuitätsgleichung für das Kontrollelement (Fluidelement)	39
2.5	Impulssatz (Kinetik)	39
2.5.1	Einführung	39
2.5.2	Impulsgleichungen	40
2.5.2.1	Impulsgleichung für den Kontrollraum	40
2.5.2.2	Impulsgleichung für den Kontrollfaden	45
2.5.2.3	Grundlegende Erkenntnisse aus der Anwendung des Impulssatzes	47
2.5.3	Bewegungsgleichungen (Impulsgleichung für das Fluidelement)	53
2.5.3.1	Ausgangsgleichung	53
2.5.3.2	Bewegungsgleichung der reibunglosen Strömung (Euler, Bernoulli)	54
2.5.3.3	Bewegungsgleichung der laminaren Strömung normalviskoser Fluide (Navier, Stokes)	59
3	Elementare Strömungsvorgänge dichtebeständiger Fluide	64
3.1	Überblick	64
3.2	Mehrdimensionale stationäre Strömungsvorgänge dichtebeständiger Fluide	64
3.2.1	Voraussetzungen und Ausgangsgleichungen	64
3.2.2	Reibungslose Strömung dichtebeständiger Fluide	66
3.2.2.1	Auftriebskraft angeströmter ebener Körper	66
3.2.2.2	Strahlkraft auf angeströmte Körper	69
3.2.2.3	Strahlantriebe	71
3.3	Fadentheorie dichtebeständiger Fluide	77
3.3.1	Einführung	77
3.3.2	Stationäre Fadenströmung dichtebeständiger Fluide	77
3.3.2.1	Voraussetzungen und Annahmen	77
3.3.2.2	Ausgangsgleichungen der stationären Fadenströmung	78
3.3.2.3	Anwendungen zur stationären Fadenströmung	79
3.3.3	Instationäre Fadenströmung dichtebeständiger Fluide	84
3.3.3.1	Voraussetzungen und Annahmen	84
3.3.3.2	Ausgangsgleichungen der instationären Fadenströmung	84
3.3.3.3	Anwendungen zur instationären Fadenströmung	85

3.4 Strömung dichtebeständiger Fluide in Rohrleitungen (Rohrhydraulik)	88
3.4.1 Einführung	88
3.4.2 Grundlagen der Rohrhydraulik bei stationärer Strömung	90
3.4.2.1 Über Strömungsquerschnitt gemittelte Strömungsgrößen	90
3.4.2.2 Fluidmechanischer Energieverlust	91
3.4.2.3 Ausgangsgleichungen der Rohrhydraulik	92
3.4.3 Strömung dichtebeständiger Fluide in geradlinig verlaufenden langen Rohren	94
3.4.3.1 Voraussetzungen und Annahmen	94
3.4.3.2 Vollausgebildete Rohrströmung	96
3.4.3.3 Vollausgebildete laminare Rohrströmung	98
3.4.3.4 Vollausgebildete turbulente Strömung durch glattes Rohr	100
3.4.3.5 Vollausgebildete turbulente Strömung durch rauhes Rohr	103
3.4.3.6 Rohreinlaufströmung	105
3.4.4 Strömung durch Rohrverbindungen und Rohrleitungselemente	107
3.4.4.1 Allgemeines	107
3.4.4.2 Stromquerschnittsänderung (Erweiterung, Verengung)	108
3.4.4.3 Stromrichtungsänderung (Stromumlenkung)	115
3.4.4.4 Stromverzweigung (Trennung, Vereinigung)	117
3.4.4.5 Einbau einer Strömungsmaschine (Turbine, Pumpe)	119
3.4.5 Aufgaben der Rohrhydraulik	120
3.4.5.1 Ausgangsgleichungen	120
3.4.5.2 Stationäre Rohrströmung dichtebeständiger Fluide	121
4 Elementare Strömungsvorgänge dichteveränderlicher Fluide	123
4.1 Überblick	123
4.2 Thermodynamisches Verhalten dichteveränderlicher Fluide (Gase)	123
4.2.1 Einführung	123
4.2.2 Zustandsbeschreibung	124
4.2.2.1 Isentrope Zustandsänderung	124
4.2.2.2 Thermische Zustandsänderung	125
4.2.2.3 Entropieänderung	126
4.3 Fadentheorie dichteveränderlicher Fluide (Gase)	126
4.3.1 Einführung	126
4.3.2 Grundgesetze der stationären Fadenströmung dichteveränderlicher Gase	127
4.3.2.1 Ausgangsgleichungen der stationären Fadenströmung	127
4.3.2.2 Schallgeschwindigkeit strömender Gase	128
4.3.2.3 Kennzahlen und Druckbeiwert der Strömung dichteveränderlicher Gase	129
4.3.3 Stetig und unstetig verlaufende Fadenströmung dichteveränderlicher Gase	131
4.3.3.1 Bei konstanter Entropie stetig verlaufende stationäre Strömung	131
4.3.3.2 Mit normalem Verdichtungsstoß unstetig verlaufende stationäre Strömung	132
4.3.3.3 Anwendungen zur stationären Fadenströmung dichteveränderlicher Gase	135
5 Potential- und Potentialwirbelströmungen	142
5.1 Überblick	142
5.2 Begriffe und Gesetze drehungsfreier und drehungsbehafteter Strömungen	143
5.2.1 Einführung	143
5.2.2 Geschwindigkeitspotentiale	143

5.2.3 Größen der Wirbelbewegung (Drehbewegung)	144
5.2.3.1 Kinematische Begriffe	144
5.2.3.2 Zusammenhang von Drehung und Zirkulation (Stokes)	146
5.2.4 Wirbelgleichungen der Fluidmechanik	148
5.2.4.1 Räumlicher Wirbelerhaltungssatz	148
5.2.4.2 Zeitlicher Wirbelerhaltungssatz	149
5.2.4.3 Zeitlicher Erhaltungssatz der Zirkulation (Thomson)	149
5.3 Potentialströmungen	150
5.3.1 Einführung	150
5.3.2 Grundlegende Beziehungen	150
5.3.2.1 Geschwindigkeitspotential	150
5.3.2.2 Geschwindigkeitsfeld	151
5.3.2.3 Druckfeld	152
5.3.3 Stationäre Potentialströmungen dichtebeständiger Fluide	152
5.3.3.1 Ausgangsgleichungen	152
5.3.3.2 Grundlagen der ebenen Potentialströmungen dichtebeständiger Fluide	153
5.3.3.3 Lösungsansätze ebener Potentialströmungen dichtebeständiger Fluide	157
5.3.3.4 Beispiele ebener Potentialströmungen dichtebeständiger Fluide	160
5.3.3.5 Grundlagen der räumlichen Potentialströmungen dichtebeständiger Fluide	170
5.3.3.6 Beispiele räumlicher Potentialströmungen dichtebeständiger Fluide	171
5.4 Potentialwirbelströmungen	174
5.4.1 Einführung und grundlegende Beziehungen	174
5.4.2 Stationäre Potentialwirbelströmungen dichtebeständiger Fluide	175
5.4.2.1 Ausgangsgleichungen (Biot, Savart)	175
5.4.2.2 Einzelter ebener Potentialwirbel (Stabwirbel)	176
5.4.2.3 Potentialwirbelschichten	178
5.4.3 Tragflügeltheorie dichtebeständiger Fluide	180
5.4.3.1 Grundlagen der Theorie des Auftriebs	180
5.4.3.2 Tragflügel unendlicher Spannweite (Profiltheorie)	183
5.4.3.3 Tragflügel endlicher Spannweite (räumliche Tragflügeltheorie)	186
6 Grenzschichtströmungen	192
6.1 Überblick	192
6.2 Grundzüge der Grenzschicht-Theorie (Prandtl)	193
6.2.1 Einführung	193
6.2.2 Formulierung der Grenzschicht-Theorie	194
6.2.2.1 Begriff der Grenzschicht und ihr grundsätzliches Verhalten	194
6.2.2.2 Grenzschichtvereinfachungen	197
6.2.2.3 Grenzschichtgleichung der ebenen Strömung	198
6.2.2.4 Impulsverfahren der Grenzschicht-Theorie	199
6.3 Grenzschichtströmung an festen Wänden	201
6.3.1 Einführung	201
6.3.2 Laminare Grenzschichten an festen Wänden	201
6.3.2.1 Grenzschichtgleichung der laminaren ebenen Scherströmung	201
6.3.2.2 Folgerung aus der Grenzschichtgleichung	202
6.3.2.3 Laminare Grenzschicht an der längsangeströmten ebenen Platte	204

Inhaltsverzeichnis XIII

6.3.3 Turbulente Grenzschichten an festen Wänden	208
6.3.3.1 Grenzschichtgleichung der turbulenten ebenen Scherströmung .	208
6.3.3.2 Turbulente Grenzschicht an der längsangeströmten ebenen Platte	210
6.3.4 Abgelöste Grenzschicht bei umströmten Körpern	213
6.3.4.1 Grundsätzliche Erkenntnisse	213
6.3.4.2 Abgelöste Strömung an gewölbten Körpern	214
6.3.4.3 Abgelöste Strömung um Körper mit scharfen Kanten	217
Sachverzeichnis.	221